

平成 22 年度

卒業研究報告

研究題目

ニッケル水素充電池の残量予測方法の検討

指導教員

由井 四海

著者

小笹 有輝

塩谷 秋人

平成 23 年 3 月 3 日提出

独立行政法人国立高等専門学校機構

富山高等専門学校 電子制御工学科

第1章 序章	1
1.1 はじめに	1
1.2 目的	1
1.3 概要	1
第2章 ニッケル水素充電電池	1
2.1 構造	1
2.2 特長	2
2.3 動作原理	2
第3章 残量予測方法の検討	4
3.1 残量予測の真値	4
3.2 方法と装置	6
3.2.1 方法	6
3.2.1.1 電圧テーブル方式	6
3.2.1.2 内部抵抗テーブル方式	7
3.2.2 装置	9
3.2.2.1 MPLAB	9
3.2.2.2 LabVIEW	10
3.2.2.3 NI DAQPad-6016	10
3.2.2.4 Dual Output DC Power Supply E3648A	10
3.2.2.5 USB マイコンボード PIC18F2550	11
3.2.2.6 PDX1R0000D	11
3.3 製作物	11
3.3.1 定電流放電装置	11
3.3.2 3段階電流放電装置	13

3.3.3	放電特性測定用 VI.....	14
3.4	予測手順.....	15
3.4.1	電流積算方式.....	15
3.4.2	電圧テーブル方式.....	15
3.4.3	内部抵抗テーブル方式.....	16
3.5	結果と考察.....	17
3.5.1	放電特性の測定.....	17
3.5.2	内部抵抗算出結果.....	18
3.5.3	電圧テーブルによる残量予測.....	19
3.5.3.1	サイクル数が不明なニッケル水素充電電池の残量予測結果.....	19
3.5.3.2	新品なニッケル水素充電電池の残量予測結果.....	21
3.5.4	内部抵抗テーブルによる残量予測.....	22
3.5.4.1	サイクル数が不明なニッケル水素充電電池の残量予測結果.....	22
3.5.4.2	新品なニッケル水素充電電池の残量予測結果.....	24
3.5.5	残量予測結果の比較による考察.....	25
第4章	まとめ.....	26

第1章 序章

本章では、本研究の目的、概要について述べる。

1.1 はじめに

近年、エレクトロニクス技術の進歩に伴い、様々な電子機器の省電力化が進み、電池を電力源とする小型軽量ポータブル機器が商品化されるようになってきている。したがって、機器に使用される電池も小型軽量でエネルギー密度の高いものが求められるようになり、高エネルギー密度で、繰り返し使用することができる2次電池が開発されるようになった。

Ni-MH 充電池（ニッケル水素充電池）は 1990 年になって実用化された比較的新しい 2 次電池である。エネルギー密度が高く、コスト・パフォーマンスに優れ、また使用材料が環境にやさしいなど多くの特徴を持ち、幅広く使用されている。しかし、優れている反面、電池自体が正極・負極・電解液の化学反応で放電しているため、特性は曲線になり、単純に電圧に係数を掛けるだけでは正確な残量を得ることはできない。

1.2 目的

ニッケル水素充電池の特性を測定し、残量予測方法を検討することを目的とする。

1.3 概要

残量予測方法について調べ、各残量予測方法の長所、短所を考慮したうえで、最適な残量予測方法で残量予測を行い、残量予測の精度を上げる。

その過程で、ニッケル水素充電池の構造、動作原理を把握し、放電特性を測定する。また、その測定に必要な装置、回路を開発し、製作する。

第2章 ニッケル水素充電池

本章では、本研究で使用したニッケル水素充電池について述べる。

2.1 構造

ニッケル水素充電池は正極にニッケル酸化物、負極に水素吸蔵合金、電解液にイオン導電

性のよい水酸化カリウム水溶液で構成されている。円筒形電池の場合、きわめて薄いシート状のニッケル酸化物からなる正極と水素吸蔵合金からなる負極をポリオレフィン製不織布のセパレータを通して渦巻状に巻いたものをニッケルめっきした鉄製缶に挿入する。そして、水酸化カリウム水溶液からなる電解液を注入した後、ガス・リーク弁を備えた封口板を組み合わせて密封した構造となっている。なお、MH は、水素吸蔵合金が水素を吸蔵した状態の金属水素化合物を表わしている。

見かけ上は電解液が充・放電反応に関与しない電池システムであり、電解液中に反応生成物の析出や電解液の濃度変化がなく、電圧変化の少ない優れた2次電池である。

2.2 特長

急速充電が可能で、優れたサイクル寿命を持ち、500回以上の充放電サイクルが可能な高性能で高信頼性のある電池。また、高容量・高エネルギー密度であり、ハイ・レート特性に優れ、公害規制物質を使用していないため、高い環境適合性がある。さらに、電圧が1.2Vであり、負極にカドミウムを利用しているニカド充電電池と互換性がある。

短所としては、自然放電する量が多い、ニカド充電電池ほどではないがメモリ効果があるといたことが挙げられる。メモリ効果とは、その容量のほぼ全てを使い切らない、電荷が十分に残っている状態で継ぎ足し充電を繰り返すと、電荷が残っているにもかかわらず放電電圧が低下し、結果として容量が減少した様に見えること。

2.3 動作原理

・放電時

負極には水素吸蔵合金に水素が貯蔵されており、その水素が触媒作用によって水素イオンになり、電子が負極に蓄積される。正極表面ではニッケル酸化物の触媒作用によって水が水素イオンと水酸化物イオンに電離される。この水素イオンは正極の表面で負極から流れてきた電子に引き付けられる。また、水酸化物イオンは電解質である水酸化カリウムの中を通過して負極近辺の水素イオンに引き作られる。負極の水素吸蔵合金からは水素イオン

が放出され、電子が負極に蓄積される。正極では水素イオンが電子を獲得して電氣的に中性の水素原子になり、水の電離によって生成された水酸化物イオンは陰極の水素吸蔵合金から放出された水素イオンと結合して水になる。水素原子は正極でニッケル水酸化物（Ⅱ）を生成させる。この反応は負極に吸蔵された水素を使い切るまで継続し、その間放電する。

・充電時

電池に外部から発生電圧（1.2V）よりも高い電圧の電源を接続すると、負極には多くの電子が蓄積され、正極には電子の欠乏が生じる。正極ではニッケルの触媒作用によって水を電離し水素イオンと水酸化イオンを生成する。水の電離によって生じた水酸化物イオンは正極に引き付けられ、水素イオンは負極に引き付けられる。正極では水酸化物イオンが電子を放出して電氣的に中性の水酸化物に戻る。負極では水素イオンが電子をもらって電氣的に中性の水素原子に戻る。負極の水素原子は水素吸蔵合金に吸収される。正極の水酸化物は放電時に蓄積されたニッケル水酸化物（Ⅱ）と結合してオキシ水酸化ニッケルと水を生成する。この反応を水素吸蔵合金が水素を吸収できる限界まで継続（充電）して、再度放電可能な状態に戻す。

第3章 残量予測方法の検討

3.1 残量予測の真値

我々が行った残量予測の結果が正しいかどうか、比較する真値が必要である。そこで、電流積算方式による残量表示値を真値とした。電流積算方式とは、回路に電流検出用抵抗を実装し、その両端の電圧から電流値を計測して積算する方式である。一般に電池の容量は、その電池に流れた電流[mA]と流した時間[h]の積で表すことができる。そのイメージを下図に示す。

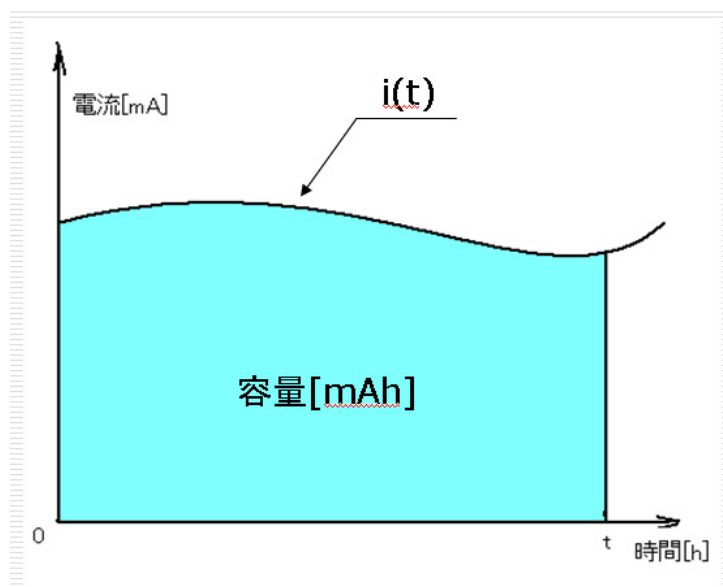


図1 電流積算のイメージ

電池に流れた電流[mA]と流した時間[h]の積とは使用した容量のことであり、満充電時容量から減算することでその時点での容量が分かるというものである。

使用した分の容量を引いているだけなので誤差が少なく、精度の高い残量予測が可能である。

本研究では定電流放電装置のトランジスタの出力側閉回路に $1[\Omega]$ の電流検出用抵抗(前述の PDX1R0000D)を実装し、その両端の電圧を PIC で A/D 変換し 1[s]ごとに足し合わせたものを使用した分の容量とした。

しかし、この方式で任意の電池の残量予測を行うには満充電容量が既知であることと、放電電流を常時測定していることが前提である。

満充電容量を知るには一度空になるまで放電して初めて知ることができる。

放電電流を終始測定し続けるためには、電池に測定機器を常に着ける必要がある。

また、途中まで使用してある電池の残量予測も性質上不可能である。

これでは実用的とは言い難い。

本研究ではあくまでその時点での残量をリアルタイムに計測することを目標とするため残量予測は別の方法を採用することにした。

3.2 方法と装置

3.2.1 方法

残量予測方法としてテーブル方式を採用した。テーブルとはあらかじめ作成しておいた残量に関する測定可能なパラメータと残量の対応表のことであり、テーブル方式は残量と測定可能なパラメータの関係に着目し、残量と電圧のテーブルから残量を予測する方法のことである。

3.2.1.1 電圧テーブル方式

電圧テーブル方式は残量と電池電圧の関係に着目し、残量と電圧のテーブルから残量を予測する方法のことである。

まず、簡単な例を下図に示す。

表 1 電圧テーブルの例

100%	1.30V
90%	1.25V
80%	1.20V
50%	1.10V
20%	1.05V
0%	1.00V

例えば、電池電圧が 1.10[V]だったときこの表から電池の残量は 50[%]であるというようにみることができる。

また、電池電圧が 1.15[V]だったときなどテーブルで対応する値が無い場合は各々の値の間を直線近似で補間している。この場合は 80[%]と 50[%]の間を直線近似で補間し 65[%]とし

ている。(1D 補間)

次に実際の電圧テーブルの作成方法を述べる。

前述の電流積算方式では精度の良い残量予測が可能である。これを活かし電流積算方式で得られた残量をテーブルの左側の容量の値、基準値としてその容量の時点での電池の両端電圧を測定し、対応させてテーブルを完成させた。

テーブルの細かさだが、実用性と精度を考慮した結果、100[%]から 0[%]まで 10[%]刻みで作成することにした。

また、放電電圧と残量の関係は、電池パックの特性によって異なる。そのため、あらかじめ複数の Ni-MH 蓄電池を使って放電電圧を測定し、電池パックの特性のばらつきの中で、それぞれの電池パックの特性を考慮した電圧テーブルを作成しなければならない。本研究では 3 本の単 4 形の Ni-MH 蓄電池を測定対象とし、これらの放電電圧を測定して電圧テーブルを作成し、3 つのテーブルを平均したテーブルを作成した。

3.2.1.2 内部抵抗テーブル方式

内部抵抗テーブル方式は残量と電池の内部抵抗の関係に着目し、残量と内部抵抗のテーブルから残量を予測する方法のことである。電池はただの電源ではなく実際には内部抵抗が存在する。基本的に電池の電源は常に一定だが電池は使用とともに電圧が減少する。電池が減ったというのは電池の内部抵抗が残量の減少とともに増大し内部抵抗による電圧降下が大きくなったため電池電圧が減少したといえる。

ニッケル水素充電電池にも同様の性質があると考え、残量と内部抵抗の関係からテーブルを作成した。

次に実際の内部抵抗テーブルの作成方法を述べる。

本研究では放電特性測定回路の電源を、ラダー回路で 3 段階のステップ状の電圧を印加する電源回路に替えることにより 3 段階の放電特性が得られるように改良し、その 3 段階の放電特性の差の値が内部抵抗による電圧降下であると考えた。そこで、放電特性の差の値

を電流の差の値で除すことで内部抵抗の値を計算した。

内部抵抗テーブルも残量の基準値は電流積算方式で得られた残量としている。

テーブルの細かさは、内部抵抗の場合も実用性と精度を考慮した結果、100[%]から 0[%]まで 10[%]刻みで作成することにした。

また、電圧テーブルと同様に内部抵抗も電池によりバラつきがあるので 3 本の電池の平均の値を採用している。

3.2.2 装置

3.2.2.1 MPLAB

MPLAB とは、米マイクロチップ社が提供する、組み込みシステム用統合開発環境ソフトウェアのことである。C 言語でのプログラム開発をすべて PC 上で行ことが可能で PIC に 書き込むプログラムをエディタで編集したり、C コンパイラを統合して、プログラムをコンパイルしたり、コンパイルしたファイルを PIC に書き込んだりなどが出来る。このソフトウェアは開発元から自由にダウンロードして使うことのできるフリーソフトである。

ポケコンでの C 言語プログラム開発は多少なりと煩雑さを覚えることがある。

そこで、その煩雑さを解消するためにこのソフトウェアを使用した。

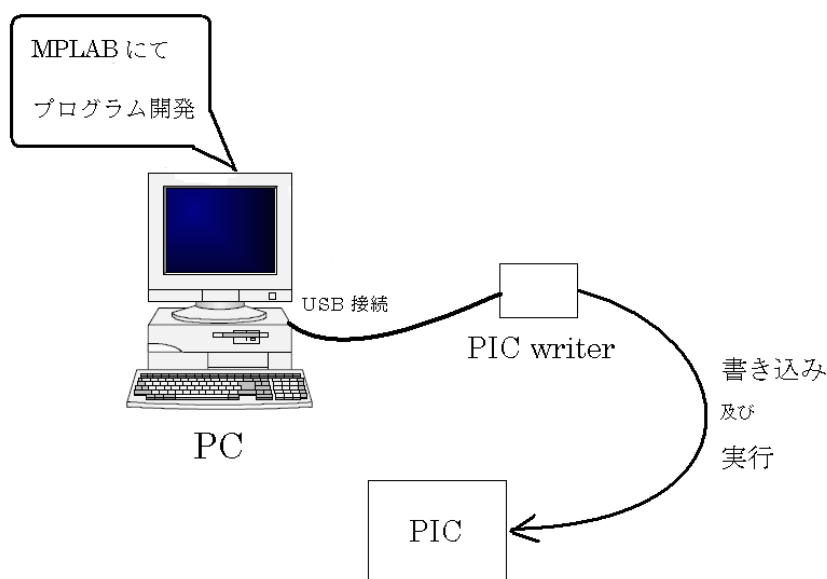


図 2 MPLAB のシステムの流れ

上図は MPLAB のシステムの大まかな流れである。PC 上でプログラム作成、コンパイルを行った後書き込み・実行するという簡単な操作でプログラミングを行うことができる。

本研究では、抵抗に流れる電流を A/D 変換した値、電流を流した時間、使用した電池の残

量を液晶に表示させるプログラムを MPLAB にて作成・実行した。

3.2.2.2 LabVIEW

LabVIEW とは、多くの技術者や研究者によって高度な計測/テスト/制御システムの開発に使用されているグラフィカルなプログラミング環境である。アイコンとワイヤを使用するフローチャートに似た直感的なインターフェースが特徴で、プログラムの開発、管理、解釈が容易である。また、多数のハードウェアデバイスとの統合が可能で、高度な解析やデータの可視化が行えるライブラリも数多く内蔵されており、その全てを使って VI (LabVIEW で構成したプログラム) を作成することができる。LabVIEW プラットフォームは、1986 年の登場以来拡張を続け、複数のターゲットやオペレーティングシステムでシームレスに使用できるようになっている。本研究では、放電電圧および放電時間の測定、テーブル方式による予測のための装置開発に使用している。

3.2.2.3 NI DAQPad-6016

USB-6259 高速 M シリーズ DAQ である NI DAQPad-6016 は、1.25 MS/秒の 16 ビットアナログ入力、2.8 MS/秒の 16 ビットアナログ出力、そして最大 1 MHz の DIO クロックを備えている。

ナショナルインスツルメンツの DAQPad-6016 は、特に携帯用やスペースに制約があるアプリケーション向けに設計されている。ネジ留め式端子に直接接続でき、コスト削減や容易な信号接続が実現される上、プラグアンドプレイ接続によりデバイスの構成や設定に費やす時間を最小限に抑えることができる。また、LabVIEW と組み合わせて使用するが、LabVIEW のプログラムによって、DAQPad-6016 から出力したり、また、信号を収集したりすることができる。本研究ではニッケル水素充電電池の放電電圧を測定する機器として使用したため、非常に重要な機器に位置づけされている。

3.2.2.4 Dual Output DC Power Supply E3648A

この装置はデュアル出力の DC 電源で低雑音出力、クリーンで信頼性の高い電源である。

また、電流計としても使用できる。

本研究では放電特性を測定する回路のトランジスタの V_{cc} に使用した。また、トランジスタに流れるコレクタ電流(ほぼ抵抗に流れる電流に等しい)をデジタルで表示させ、回路に正常な値の電流が流れているかのチェックに使用した。

3.2.2.5 USB マイコンボード PIC18F2550

USB マイコンボード PIC18F2550 は基板に USBminiB コネクタ, マイコン (PIC18F2550), 20MHz 発振子が一体化されており、USB 機器を容易に製作できる様になっている高速高性能の小型マイコンモジュールである。

また、10bit という高い分解能で A/D 変換が可能である。

本研究では前述の MPLAB と合わせて使用し、MPLAB 上で作成・実行したプログラムでこのマイコンを動作させた。

3.2.2.6 PDX1R0000D

アルファ・エレクトロニクス社製の金属箔抵抗器。電力用小型精密抵抗器として販売されているが、取り付け方法がスルーホールであるため、様々な用途に利用できる。抵抗値は 1Ω 、定格電力は $1.5W$ (フリーエア)・ $8W$ (放熱器使用時)、最大使用電圧は $DC250V$ 、最大使用電流は $4A$ 、使用温度範囲は $-55^{\circ}C \rightarrow +155^{\circ}C$ である。温度係数が $\pm 5ppm/^{\circ}C$ と極端に低く、温度変化による抵抗値の変化が少ない。金属のインゴットを圧延して造られ、金属箔を使用することによって極めて高精度な抵抗値を得られる。しかし、非常に高価である。本研究では、この抵抗器の両端電圧値から電流値を算出するため、高精度な抵抗器である金属箔抵抗器を使用する。また、放電中、 1Ω の抵抗器に電流を流すと発熱するため、温度係数が低い金属箔抵抗器を使用して、温度変化に対する抵抗値の変化を抑えた。

3.3 製作物

3.3.1 定電流放電装置

残量予測を行う上で、ニッケル水素充電電池がどのような放電をするか把握しなければなら

らない。これは重要な点である。そこで、我々は定電流放電装置を開発、製作し、放電特性を測定した。製作した定電流放電装置の回路図を図 3 に示す。この装置は、オペアンプでトランジスタを制御することによってニッケル水素充電電池に流れる電流を一定にする働きがある。また、PIC によって 1Ω の金属箔抵抗器の両端電圧を読み取り、電流に変換 (PIC にて電圧値から電流値を算出) して、電流積算方式による残量表示値を液晶表示器に表示させている。さらに、DAQ デバイス (NI DAQPad-6016) によってニッケル水素充電電池の両端電圧、つまり放電電圧や放電時間を測定し、放電特性を得られる。

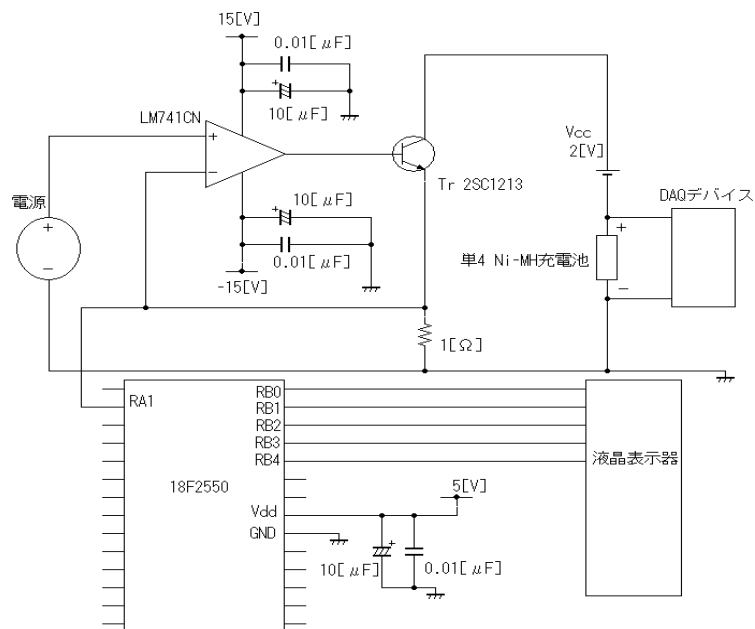


図 3 定電流放電装置の回路図

3.3.2 3段階電流放電装置

内部抵抗を電流差と電圧差から求めるため、低電流放電装置の電源を、ラダー回路で3段階のステップ状の電圧を印加する電源回路に替えることにより3段階の放電特性が得られるように改良した。図4に電流値を3段階に変化させて放電する定電流放電装置の回路図を示す。

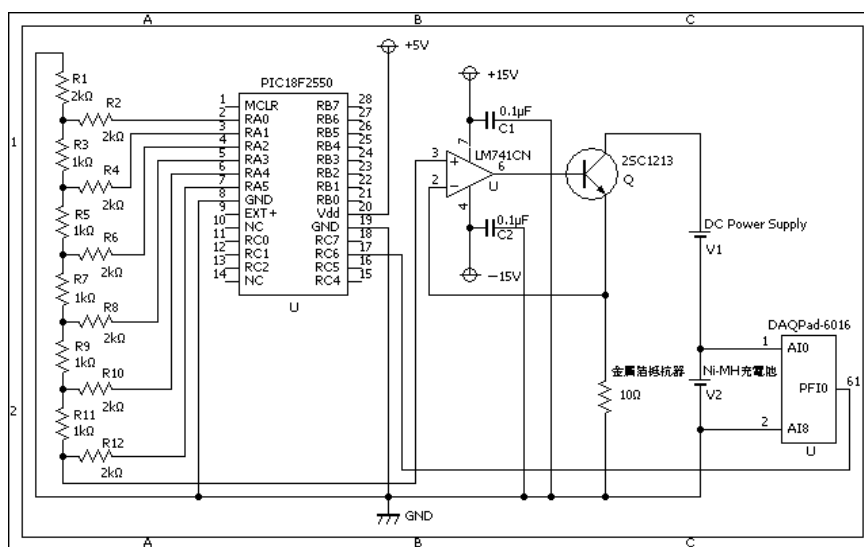


図4 3段階電流放電装置

3.3.3 放電特性測定用 VI

VI とは、LabVIEW で作成するグラフィカルなプログラムである。図 5 に放電特性（放電時間および放電電圧）測定用 VI のフローチャートを示す。この VI は、約 1 秒間隔で、電池電圧が 1V になるまで、放電電圧を測定する機能を持っており、測定すると同時に波形チャートに放電電圧の時間変化を表示する。また、放電時間と放電電圧を 2 次元データとしてファイルに保存する機能もある。通常、測定が終了すると、NI DAQPad-6016 は終了時の状態を保持するが、それだと自動停止機能が働かなくなってしまう。そこで、測定が終了すると、状態を測定前に戻すプログラムも付け加えてある。

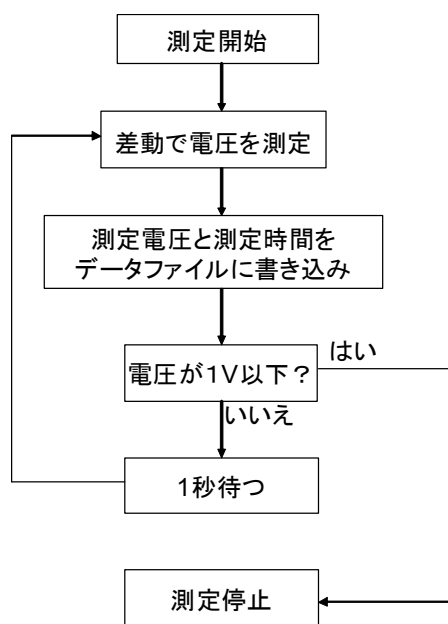


図 5 放電特性（放電時間および放電電圧）測定用 VI のフローチャート

3.4 予測手順

3.4.1 電流積算方式

電流積算方式による残量表示の結果は PIC から液晶に表示している。

表示させた値は流れている電流[mA]、流した時間[h,m,s]、使用した容量[mAh]、現在の容量[%]の4つである。PIC を起動させた時点から 1[s]間隔ごとに、流れている電流を A/D 変換して表示。及びその値を加算していったものが使用した容量。すでに測定済みの満充電時容量から使用した容量を減算していったものを全体とのパーセンテージで表したものが現在の容量。また、その 1[s]をカウントしていったものが流した時間である。1[s]ごとにすべてリセットして新しい値を表示させている。さらに、見やすいようにバックライトまで着いている。

3.4.2 電圧テーブル方式

放電電圧と残量の関係は、電池パックの特性によって異なる。そのため、あらかじめ複数のニッケル水素充電電池を使って放電電圧を測定し、電池パックの特性のばらつきの中で、それぞれの電池パックの特性を考慮した電圧テーブルを作成しなければならない。そこで、製作した定電流放電装置で電池 A、電池 B、電池 C、それぞれの放電特性を測定し、その放電特性より、電圧テーブルを作成する。まず、各電池の放電特性からそれぞれの電池における電圧テーブルを作成する。その後、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%のときの電圧値を平均し、電圧テーブルを作成する。

作成した電圧テーブルを LabVIEW で 1D 補間し、現在の電圧値を入力すると残量を表示する VI に構成しなおす。

次に、残量予測用に製作した定電流放電装置で電池 A、電池 B、電池 C それぞれの放電特性を測定する。測定した放電特性のデータを 10 等分し、その放電特性における 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%の時の電圧値を、VI に構成しなおした電圧テーブルで比較し、残量予測を行う。

なお、放電特性の測定には放電特性（放電時間および放電電圧）測定用 VI を使用する。

さらに、新品のニッケル水素充電池を用意し、それぞれを 電池 1、電池 2、電池 3、電池 4 とし、同様に残量予測を行う。

3.4.3 内部抵抗テーブル方式

製作した 3 段階電流放電装置で電流値を 3 段階に変化させ、電池 A、電池 B、電池 C、それぞれの放電特性を測定し、その放電特性より、内部抵抗を算出する。その内部抵抗を利用して内部抵抗テーブルを作成する。その後、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%のときの電圧値を平均し、内部抵抗テーブルを作成する。

作成した内部抵抗テーブルを LabVIEW で 1D 補間し、現在の内部抵抗値を入力すると残量を表示する VI に構成しなおす。

次に、残量予測用に製作した定電流放電装置で電池 A、電池 B、電池 C、電池 D それぞれの放電特性を測定し、内部抵抗を算出する。算出した内部抵抗のデータを 10 等分し、その放電特性の内部抵抗における 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%の時の内部抵抗値を、VI に構成しなおした電圧テーブルで比較し、残量予測を行う。

なお、放電特性の測定には放電特性（放電時間および放電電圧）測定用 VI を使用する。

さらに、新品のニッケル水素充電池を用意し、それぞれを 電池 1、電池 2、電池 3、電池 4 とし、同様に残量予測を行う。

3.5 結果と考察

3.5.1 放電特性の測定

図 6 に定電流放電装置によって測定された放電特性を示す。この放電特性は放電電流を 100mA にして放電した場合の特性である。図を見て分かるように、放電開始直後は電圧が高く、しばらくすると 1.26 V 付近に収束するような形が見える。放電が終了するまで電圧が 1.2V を保ち続けており、電池として優秀であることが分かる。

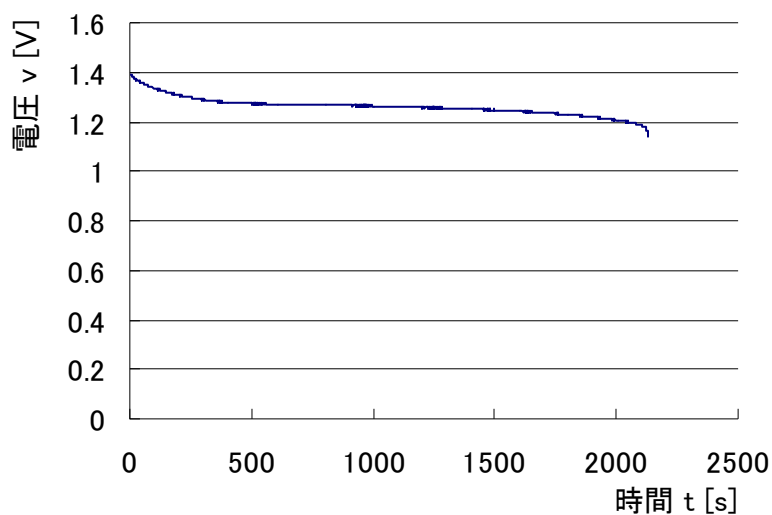


図 6 放電特性測定結果

3.5.2 内部抵抗算出結果

図 7 に内部抵抗の時間変化を示す。電流値を変化させると、放電特性の電圧値は変化するが、形は変わらないため、電圧値の差が一定になる部分がある。この間は電圧差も電流差も変化しないため、内部抵抗も変化せず、フラットな部分が生じている。

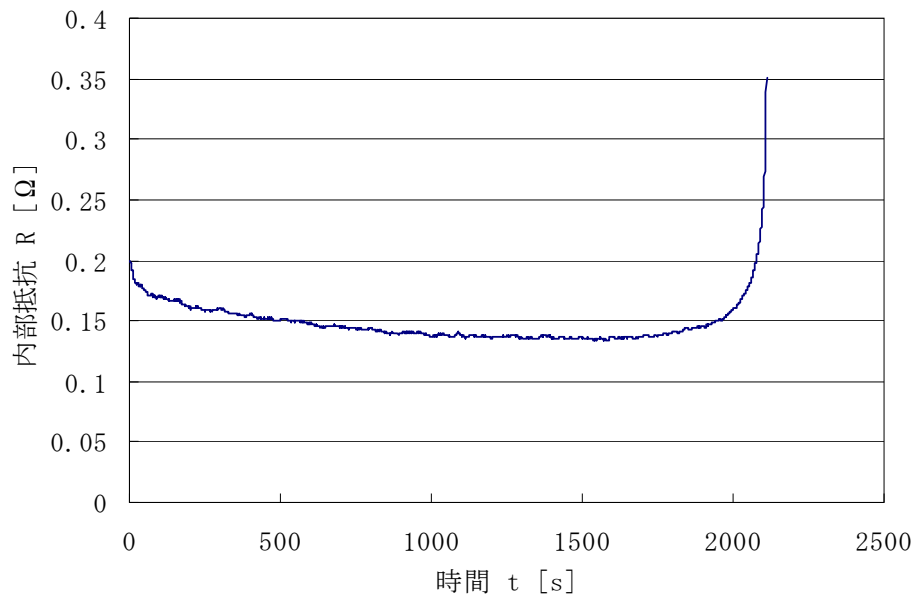


図 7 内部抵抗の時間変化

3.5.3 電圧テーブルによる残量予測

3.5.3.1 サイクル数が不明なニッケル水素充電電池の残量予測結果

図 8 に電圧テーブルによる残量予測結果を示す。縦軸に予測された残量、横軸に電流積算方式による残量をとっている。ニッケル水素充電電池の放電電圧を測定し、作成した電圧テーブルと比較して残量予測を行った。図を見ると、1～3 回目では 60～90%の領域の残量予測に誤差があることがわかる。また、4～8 回目では残量が 30～70%の領域の残量予測に誤差があることがわかる。

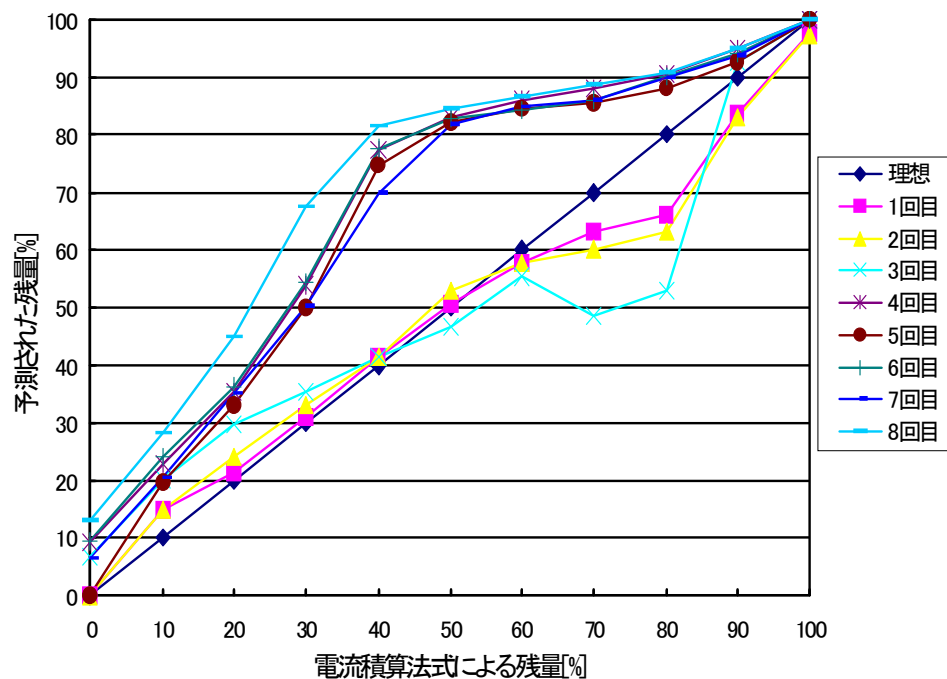


図 8 電圧テーブルによる残量予測結果

ここで、電圧テーブルの作り方に改良を加える。各電池における最近の放電特性でテーブルを作成し、電池 A を 3 回、電池 C を 2 回、電池 D を 2 回、残量予測すると、以下に示すとおり、誤差が多くても約 15% に抑えることに成功した。

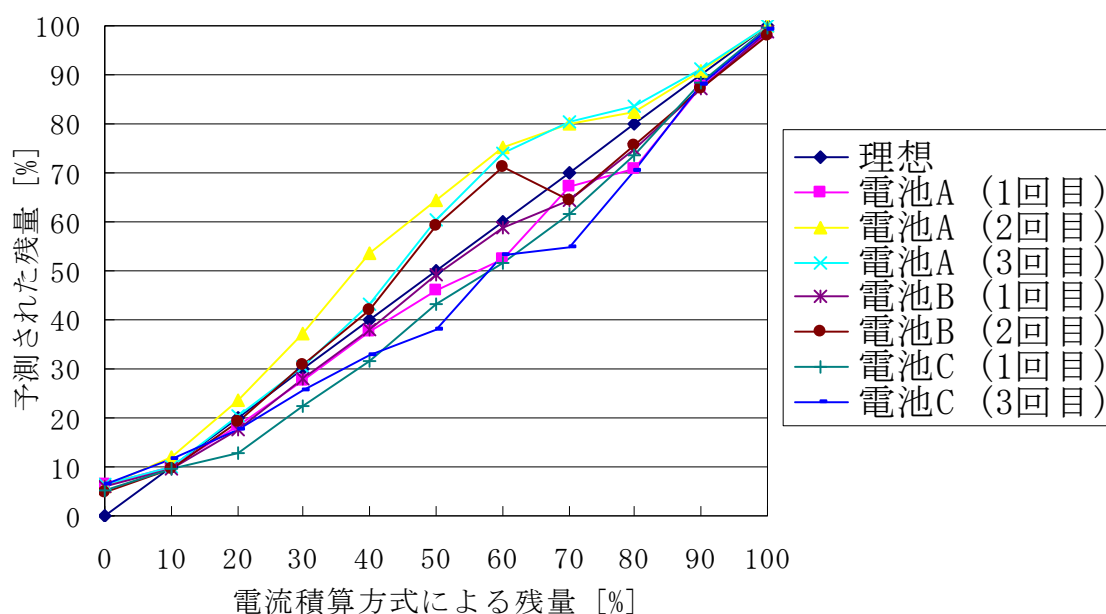


図 9 電圧テーブルによる残量予測結果

電圧テーブルを作り直す前では予測の 1～3 回の時は誤差がさほど大きくないのに対し、4 回目以降は誤差が大きくなっている。つまり、予測を繰り返すほど誤差が生じている。

それに対し、テーブルの作り方を改良すると、誤差はあるものの、テーブルを作り直す前よりは予測を繰り返し行っても誤差を抑えられた。

これらの事柄より考えられるのは、放電特性はサイクル数によって変化すると考えられる。電圧テーブルの場合、理想と誤差が生じるということは、過去の放電特性とは形が異なり、一致しないということである。電圧テーブルを作り直す前では予測の 4 回目以降のときに誤差が生じ、理想とは一致していないため、充放電を繰り返すと、放電特性が変化してし

まうと考えられる。

以上より、電圧テーブル方式での残量予測では、電圧テーブルの定期的な更新が必要であると考えられる。テーブルの更新が可能であれば、10%刻みでの残量予測は可能であろう。

3.5.3.2 新品なニッケル水素充電電池の残量予測結果

新品のニッケル水素充電電池を用いて電圧テーブル方式で残量予測を行った結果を図10に示す。電圧テーブルは、サイクル数が1（初放電）のときの放電特性を利用して作成した。残量予測結果の誤差は多くて約25%の誤差が生じた。また、電池3の1回目だけが大きく外れ、他の結果はおおむね良好な結果だということが分かる。

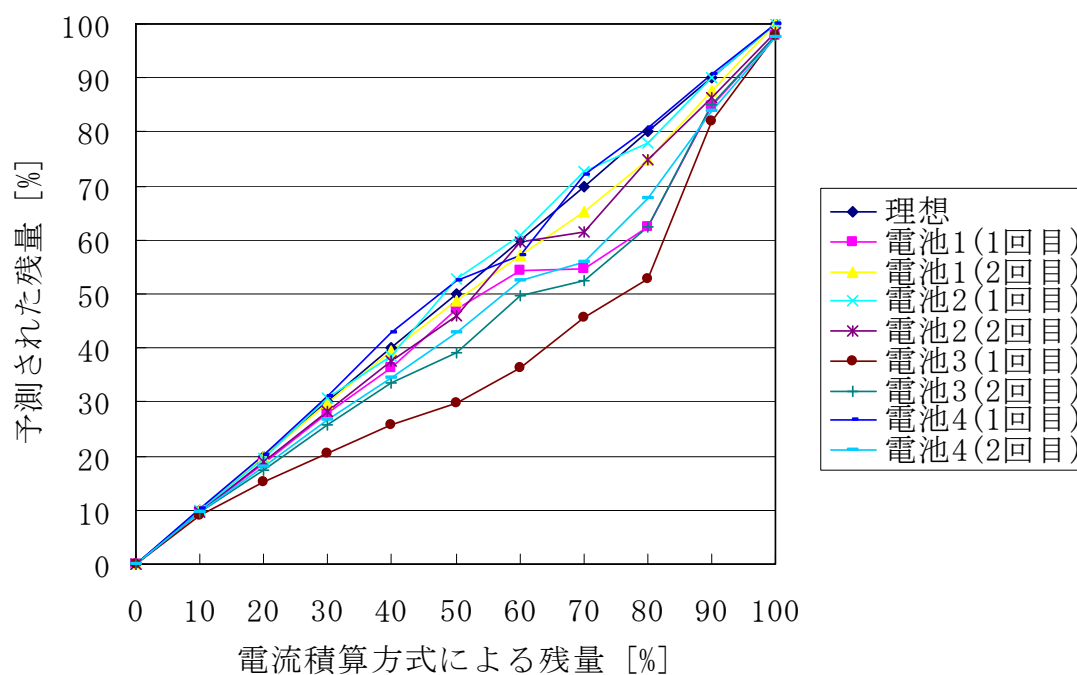


図10 電圧テーブルによる残量予測結果

電池3の1回目は外れているが、2回目は他のものと同等の動きをしている。これから考えられることは、電池の個体差はそれほど多くはないと考えられる。また、サイクル数はすべて等しいため、サイクル数による差が出たとも考えにくい。

3.5.4 内部抵抗テーブルによる残量予測

3.5.4.1 サイクル数が不明なニッケル水素充電電池の残量予測結果

内部抵抗テーブルは、各電池における最近の放電特性で内部抵抗テーブルを作成し残量を予測した。

内部抵抗テーブル方式の場合、予測誤差が大きくなった。残量を表すグラフが大きく分けると3パターンの形に分かれているのが分かる。100%~50%の間の予測値が100%に近く、40%以下の間の予測値がほぼ10%一定になっているもの、100%~50%の間の予測値が50%の近くで一定、40%以下の間の予測値がほぼ40%一定になっているもの、理想の線に近いもの、この3つである。

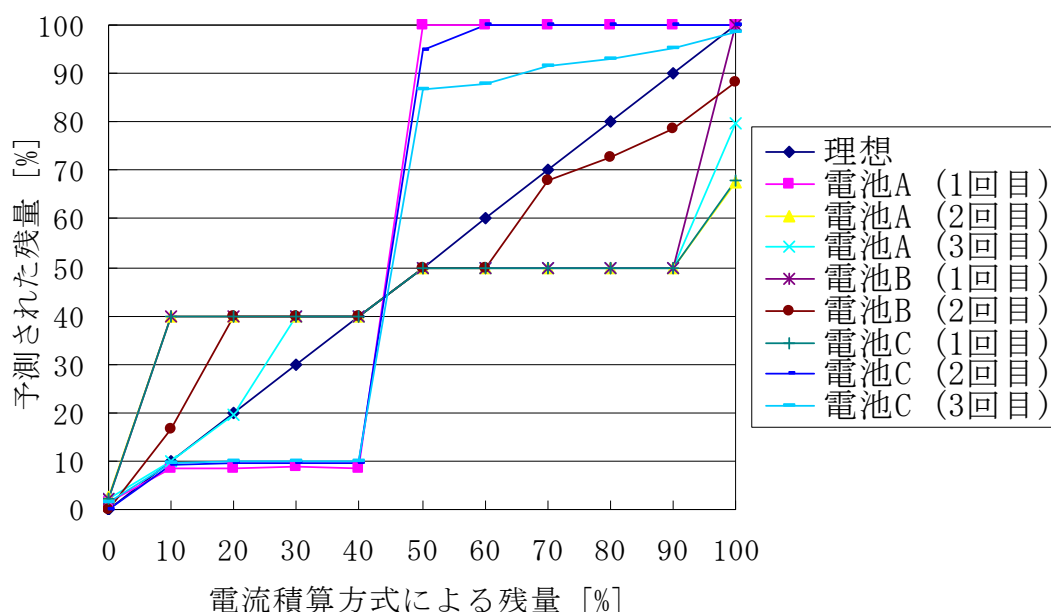


図 11 内部抵抗テーブルによる残量予測結果

これらのパターンは電池の種類にかかわらず現れている。つまり、電池の個体差が残量予測の誤差に関係しているとは考えにくい。

3パターンに分かれていると述べたが、これは、テーブルの値よりも内部抵抗が小さい、大きい、近い、の3つに分かれていると言える。データ数がまだ完全ではないので、言い切

れないが、おそらく、内部抵抗を求めると、3 パターンのどれかに当てはまると考えられる。

そう仮定すると、予測精度を向上させるには、3 パターンに適応する内部抵抗テーブルを作成し、一番近いものを適用させ、予測する方法が考えられる。

では、どうして 3 パターンに分かれてしまうのか？一番有力だと考えられるものが、電流値の誤差である。内部抵抗を求める際、電流値を 100mA、200mA、300mA の 3 つに変化させて放電しているが、実際は、正確に 100mA、200mA、300mA になっているわけではない。1mA 単位ではあるが、誤差が存在する。例えば、102mA、201mA、298mA とすると、電流差は 99mA、97mA となる。また、電流値は一定ではなく、電池電圧が下がってくると、電流値も下がってしまい、100mA、200mA、300mA を常に一定で流すとは行かない。計算は、便宜上電流差を 100mA として行っているため、その時点で誤差が含まれる。

3.5.4.2 新品なニッケル水素充電電池の残量予測結果

新品のニッケル水素充電電池を用いて内部抵抗テーブル方式で残量予測を行った結果を図12に示す。内部抵抗テーブルは、サイクル数が1（初放電）のときの放電特性を利用して作成した。

結果のほとんどは、電流積算方式による残量が70%~30%の間とき、7,80%の辺りを推移しており、誤差が大きい。また、電池2の1回目と電池3の2回目は電流積算方式による残量が80%~20%の間とき、30%一定という結果が出た。

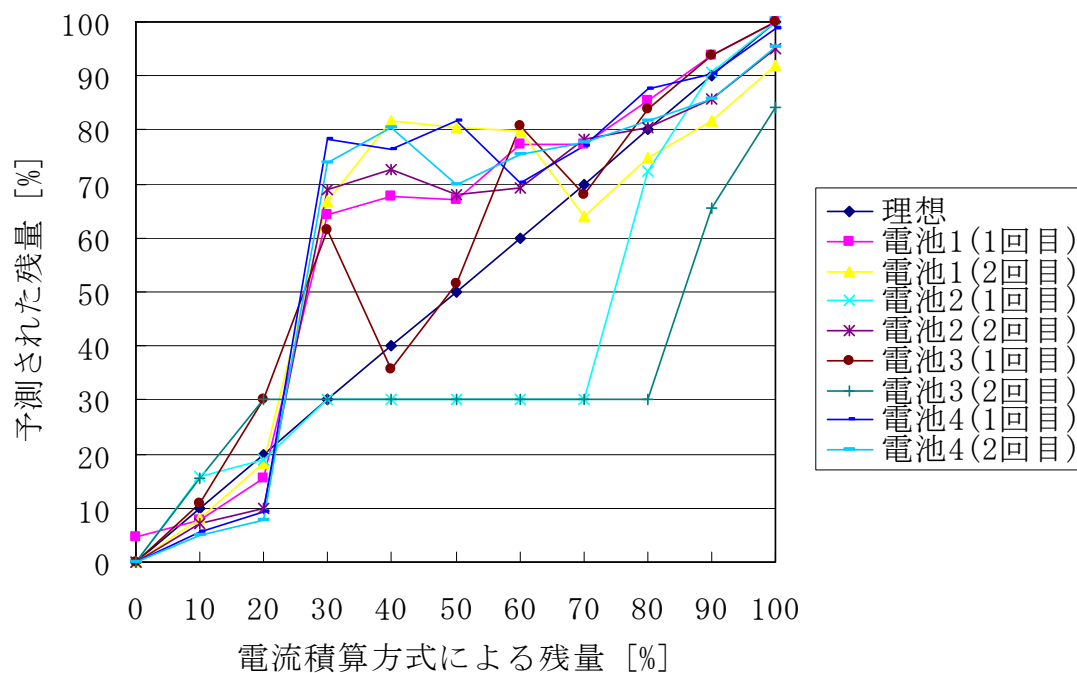


図12 内部抵抗テーブルによる残量予測結果

電流積算方式による残量が70%~30%の間において、予測された残量が80%~60%の間に集中している。この区間は内部抵抗のグラフがほぼフラットで内部抵抗の変化が最小で0.0002Ωの変化しかなく、非常にシビアである。つまり、ほんの小さなノイズでも影響があり、予測が大きく外れてしまうと考えられる。また、電池2の1回目と電池3の2回目

は大きく下回って予測しているが、これは、テーブルの値よりも小さいため、こうなった。

100%~80%と 20%~0%の間は、誤差が約±10%に抑えられており、やはり、内部抵抗の変化が大きいため、予測がおおよそ一致したと考えられる。

3.5.5 残量予測結果の比較による考察

残量予測方法として、電圧テーブル方式と内部抵抗テーブル方式による残量予測を行ったが、電圧テーブル方式の場合、テーブルを随時更新し、最新の値を保つことによって約±10%の誤差で残量予測が可能であると考えられる。ただし、前にも述べたように、過充電や過放電などのイレギュラーが起きてしまうと、テーブルがまったく当てはまらなくなってしまうので注意が必要である。内部抵抗テーブル方式の場合、内部抵抗が二次関数のように時間によっては同じ値を取る場合がある。そこで、内部抵抗値が最低値になる所で 2 つに分け、前半と後半でテーブルを作り、残量予測を行った。内部抵抗の場合、時間変化による内部抵抗の変化が放電電圧よりもさらに少ないため、テーブルの値との違いが顕著に出てしまう。よって、残量予測がシビアで難しいと考えられる。

以上より、電圧テーブル方式は、測定精度が小数点以下 3 位でおおまかな予測は可能である。小数点以下 4 位まで測定できれば、テーブルを最新のものに更新することによって 10% 刻みでの予測は可能である。内部抵抗テーブル方式は、測定精度が最低でも小数点以下 4 位はないと予測ができない。ただし、ノイズレベルの変動で影響を受ける非常にシビアな残量予測になる。

第4章 まとめ

ニッケル水素充電電池はエネルギー密度が高く、コスト・パフォーマンスに優れ、また使用材料が環境にやさしいなど多くの特徴を持ち、幅広く使用されている。しかし、優れている反面、電池自体が正極・負極・電解液の化学反応で放電しているため、特性は曲線になり、単純に電圧に係数を掛けるだけでは正確な残量を得ることはできない。そこで、ニッケル水素充電電池の特性を調べ、そこから残量を予測する方法について、検討した。

まず、定電流放電装置を開発し、ニッケル水素充電電池を一定の電流で放電させ、放電特性を測定した。ニッケル水素充電電池自体が電源の一種であり、一定な電圧値を供給するよう作られているため、時間変化による電圧の変動が少ない。これは、優れている反面、残量予測がシビアなものだということを物語っている。また、放電特性の測定を繰り返していく中で、電池には個体差があり、さらに、満充電時の容量や放電特性にも違いあることがわかった。過充電や過放電による放電特性の変化も観られ、ニッケル水素充電電池の特性が常に一定であるとはいえないと思われる。

次に、内部抵抗を求めるため、定電流放電装置を改良して3段階電流放電装置を製作し、電流値が約100mA、200mA、300mAのときの放電特性を求め、その電流差と電圧差から内部抵抗を求めた。各電流値のときの放電特性は電圧値が異なるものの、形はほぼ等しいため、内部抵抗が変化せず、フラットになる部分が生じた。

残量予測方法として、電圧テーブル方式と内部抵抗テーブル方式による残量予測を行ったが、電圧テーブル方式の場合、テーブルを随時更新し、最新の値を保つことによって約±10%の誤差で残量予測が可能であると考えられる。ただし、前にも述べたように、過充電や過放電などのイレギュラーが起きてしまうと、テーブルがまったく当てはまらなくなってしまうので注意が必要である。内部抵抗テーブル方式の場合、内部抵抗が二次関数のように時間によっては同じ値を取る場合がある。そこで、内部抵抗値が最低値になる所で2つに分け、前半と後半でテーブルを作り、残量予測を行った。内部抵抗の場合、時間変化に

よる内部抵抗の変化が放電電圧よりもさらに少ないため、テーブルの値との違いが顕著に出てしまう。よって、残量予測がシビアで難しいと考えられる。

以上より、電圧テーブル方式は、測定精度が小数点以下 3 位でおおまかな予測は可能である。小数点以下 4 位まで測定できれば、テーブルを最新のものに更新することによって 10% 刻みでの予測は可能である。内部抵抗テーブル方式は、測定精度が最低でも小数点以下 4 位はないと予測ができない。ただし、ノイズレベルの変動で影響を受ける非常にシビアな残量予測になる。

謝辞

本研究を通してご指導を頂きました富山高等専門学校専攻科准教授由井四海殿に心からの感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) トランジスタ技術編集部, 電池応用ハンドブック, CQ出版株式会社, 2005
- 2) 溝口早苗・山岸誠仁, トランジスタ技術2010年2月号, CQ出版株式会社, 2010

付録

3 段階電流放電装置用の PIC18F2550 を動かすプログラム

```
#include<p18cxxx.h>
#include<delays.h>
#include<adc.h>
#pragma config FOSC=HSPLL_HS
#pragma config WDT=OFF
#pragma config PLLDIV=5
#pragma config CPUDIV=OSC1_PLL2
#pragma config USBDIV=2
#pragma config PWRT=ON
#pragma config BOR=ON
#pragma config BORV=3
#pragma config LVP=OFF
#pragma config VREGEN=ON
#pragma config MCLRE=ON
#pragma config PBADEN=OFF
void main()
{
    int i;
    TRISA=0;
    TRISC=0x0F;
    LATA=0;
    LATC=0;
    while(1)
    {
        LATA=0x0D; /*約1V出力*/
        for(i=0; i<10; ++i) {
            if(i < 5) {
                PORTCbits.RC6=1;
            }
            else{
                PORTCbits.RC6=0;
            }
            Delay10KTCYx(200);
        }
    }
}
```

```

}
LATA=0x1A; /*約2V出力*/
PORTCbits.RC6=0;
for (i=0; i<10; ++i) {
    if (i < 5) {
        PORTCbits.RC6=0;
    }
    else {
        PORTCbits.RC6=0;
    }
    Delay10KTCYx(200);
}
LATA=0x27; /*約3V出力I/
for (i=0; i<10; ++i) {
    if (i < 5) {
        PORTCbits.RC6=1;
    }
    else {
        PORTCbits.RC6=1;
    }
    Delay10KTCYx(200);
}
}
while(1)
{
    LATA=0;
}
}

```


電流積算方式による残量予測値を液晶表示器に表示する装置の PIC18F2550 を動かすプロ

グラム

```
#include<p18cxxx.h>
#include<delays.h>
#include<lcdlib18.h>
#include<adc.h>
#include<stdlib.h>
#include<stdio.h>
#include<timers.h>

#define m 5
/*コンフィギュレーション*/
#pragma config FOSC=HSPLL_HS
#pragma config WDT=OFF
#pragma config PLLDIV=5
#pragma config CPUDIV=OSC1_PLL2
#pragma config USBDIV=2
#pragma config PWRT=ON
#pragma config BOR=ON
#pragma config BORV=3
#pragma config LVP=OFF
#pragma config VREGEN=ON
#pragma config MCLRE=ON
#pragma config PBADEN=OFF

/*メッセージの定義*/
char START[] = "start!! ";
char END[] = "test end!! ";
char number[] = "number = ";
char junbi[] = "Preparation...";

char ds[4]="";
char ss[4]="";
```

```

char sio[]="";
char byou[]="s";
char lar[]="";
char hun[]="m";
char men[]="";
char ji[]="h";

char denatsu[]="volt";
char denryuu[]="mA";
char koz[]="";
char youryou[]="mAh";
char ADV[]="";

void itostring(char digit, int data, char *buffer);
double atof(const char *);
void ftoa(float f, char *str);
void ADChyouji(void);

int Counter=0;
int niceCOUNTER=0;
double q = 0;
int i, j, min, hour;
double Result, k, h, ruk, parsent;

void main(void)
{
    int i, j;
    double Result, k, h, ruk;

    TRISA=0xD1;
    TRISC=0x0F;
    LATA=0;
    LATC=0;

    ruk = 0;

```

```

    TRISB = 0;
    lcd_init();

    OpenADC(ADC_FOSC_32&ADC_RIGHT_JUST&ADC_12_TAD, ADC_CHO&ADC_INT_OFF&ADC_REF_VREFPL
US_VREFMINUS, ADC_7ANA);
    while(1)
    {
        LATB=0;
        OpenTimer0(TIMER_INT_ON & TO_16BIT & TO_SOURCE_INT & TO_PS_1_256);
        Counter=0;
        INTCONbits.TMROIE=1;
        INTCONbits.GIE=1;
    }
}
void itostring(char digit, int data, char *buffer)
{
    char i;
    buffer += digit;
    for(i = digit; i > 0; i--)
    {
        buffer--;
        *buffer = (data % 10) + '0';
        data = data / 10;
    }
}
void lcd_out(char code, char flag){
    // 上位4ビットを出力
    LCD_DATA = (LCD_DATA & 0x0F) | (code & 0xF0);
    if (flag == 0)
        LCD_RS = 1; //
    else
        LCD_RS = 0; // コマ
}

```